

Los Parámetros Biofísicos de LSA SAF

The Land-SAF Biophysical Products

F. J. García Haro¹, J. Meliá Miralles¹ y F. Camacho de Coca²
j.garcia.haro@uv.es

¹ Dpto. Física de la Tierra y Termodinámica, Facultat de Física, Universitat de Valencia
Dr. Moliner, 50, 46100, Burjassot, Valencia, ESPAÑA

² EOLAB. Parc Científic Universitat de Valencia. Polígono La Coma, s/n. 46980 Paterna, Valencia (Sp).

Recibido el 21 de diciembre de 2007, aceptado el 19 de mayo de 2008

RESUMEN

La finalidad principal de LSA SAF es el desarrollo e implementación de algoritmos para obtener parámetros de la superficie adaptados a las capacidades que ofrecen los nuevos satélites de EUMETSAT.

Este trabajo describe las características fundamentales de los productos de la vegetación: FVC, LAI y FAPAR. Actualmente, en LSA SAF se producen estimaciones diarias de estos parámetros sobre Europa, África y Sudamérica a partir de datos SEVIRI/MSG. Dichos productos, que capturan adecuadamente la dinámica de la cubierta a escala regional y global, se distribuyen en tiempo real a la comunidad de usuarios.

PALABRAS CLAVE: LSA SAF, parámetros de la cubierta vegetal, SEVIRI/MSG, fracción de cubierta vegetal, LAI, FAPAR.

ABSTRACT

The scope of the LSA SAF is the development and implementation of algorithms, which take full advantage of remotely sensed data from EUMETSAT satellites. The life cycle of EUMETSAT satellites put the LSA SAF in a privileged position as a product/service provider for monitoring of climate and environment. The high rate of acquisition provided by the SEVIRI instrument guarantees the availability of spatially consistent cloud-free data for adequately monitoring both the seasonality of vegetation and the long term trends in the state of vegetation. Currently, FVC, LAI and FAPAR daily products are already generated on a pixel-by pixel basis in the SEVIRI/Meteosat resolution over Europe, Africa and South America.

KEYWORDS: LSA SAF, vegetation parameters, SEVIRI/MSG, fractional vegetation cover, leaf area index, FAPAR

INTRODUCCIÓN

Los programas de Observación de la Tierra proporcionan la herramienta fundamental para monitorizar, a escala regional y global, las variables de estado del sistema ambiental terrestre, y realizar el seguimiento temporal de las mismas. El desarrollo de instrumentos de observación de la Tierra de última generación (POLDER/ADEOS, SEVIRI/MSG, VEGETATION/

SPOT, MERIS/ENVISAT, MODIS/TERRA) ha mejorado significativamente las capacidades espectrales y direccionales, con las que observar la reflectividad de las superficies. En particular, dichos sensores permiten acceder al dominio direccional de la reflectividad, y de ese modo caracterizar la BRDF (Bidirectional Reflectance Distribution Function), con el valor añadido de una resolución espectral mejorada.

EUMETSAT ha desarrollado la red de centros de excelencia denominados SAF (Satellite Application Facilities), cuyo objetivo es diseñar algoritmos, procesar datos y obtener productos destinados, principalmente, a la comunidad de climatólogos y meteorólogos, mediante el uso sinérgico de los sistemas EUMETSAT de nueva generación: el satélite estacionario MSG (Meteosat Second Generation, Meteosat 8-10) y el satélite EPS (European Polar System), primer satélite meteorológico europeo de órbita Polar (serie MetOp). El largo ciclo de vida de dichos satélites coloca a estos centros en una situación privilegiada, ofreciendo productos/servicios con un valor añadido para la observación del clima y del medio ambiente. Se trata de la primera iniciativa europea destinada a producir y distribuir en tiempo real variables de estado del sistema ambiental terrestre.

Este trabajo se ha desarrollado en el contexto de LSA SAF (Land Surface Analysis SAF), encargado de generar variables de la superficie a partir de los satélites EUMETSAT. Los productos LSA SAF pueden dividirse en parámetros radiativos (flujos de radiación, albedo, temperatura y emisividad) y parámetros geobiofísicos (cobertura nevosa, humedad de la superficie y productos de vegetación).

En este contexto, la Universidad de Valencia es la responsable de desarrollar los algoritmos operacionales para estimar los parámetros de vegetación, incluyendo el desarrollo de los algoritmos, la implementación operacional de los prototipos, el análisis de los productos y la validación científica de los mismos. Las variables que hemos utilizado para caracterizar la cubierta vegetal han sido la fracción de cubierta vegetal (FVC) y el índice de superficie foliar (LAI). La nueva versión de los productos (v2.1) proporciona, además, la fracción de radiación fotosintéticamente activa absorbida por la vegetación (FAPAR).

Estas variables se consideran adecuadas para observar la dinámica de la cubierta a escala regional y global y son prioritarias para estudiar los ciclos de carbono y agua, la variabilidad climática, la predicción meteorológica y numerosas aplicaciones de la biosfera. En este tipo de aplicaciones, los productos MSG ofrecen importante ventajas respecto a otros productos actualmente disponibles:

- (i) Proporcionan datos consistentes espacialmente a una escala global, resolviendo los problemas de inhomogeneidad asociados al uso de bases

de datos de carácter regional o local.

- (ii) La alta frecuencia temporal del sensor SEVIRI/MSG permite muestrear la BRDF a lo largo del ciclo diurno y obtener estimaciones filtradas de nubes con una resolución temporal elevada (diaria, decenal), la cual es necesaria para monitorizar cambios bruscos en la cubierta vegetal durante el ciclo de desarrollo.

- (iii) El coste de los datos es prácticamente nulo.

Se necesita tener en cuenta que la baja resolución espacial de SEVIRI se compensa debido a su alta resolución temporal. Esto confiere volúmenes importantes de datos.

ALGORITMOS OPERACIONALES

La metodología para estimar la FVC se basa en una estrategia que combina las ventajas de un modelo geométrico (análisis de mezclas espectrales) con un modelo probabilístico que tiene en cuenta la variabilidad natural de las componentes puros o endmembers (García-Haro *et al.*, 2005a; 2008a). El algoritmo modela la reflectividad de la superficie a partir de la contribución de la señal de interés (vegetación) y del suelo de fondo. Ambas componentes vienen caracterizadas de una forma estadística a partir de una suma de funciones gaussianas. De esa manera, se recoge la variabilidad de cada variedad vegetal y tipo de suelo presente en la escena. Las etapas principales del algoritmo son (ver figura 1):

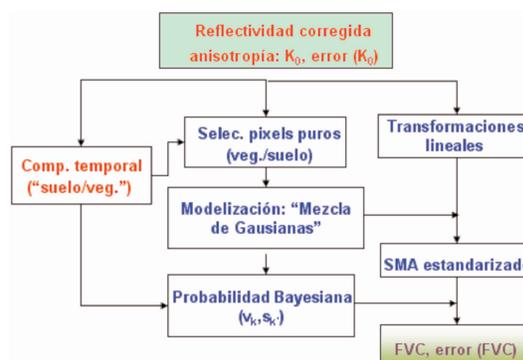


Figura. 1. Diagrama de flujo del algoritmo FVC sobre datos SEVIRI/MSG.

- 1.- Normalización de la anisotropía de la BRDF, a partir de la inversión de modelos “kernel-driven” (Geiger *et al.*, 2004).
- 2.- Utilización de información temporal, para extraer las fechas con mayor presencia de suelo y vegetación en cada píxel.
- 3.- Extracción de atributos lineales (variables estandarizadas e índices optimizados), que hacen las estimaciones menos sensibles a factores externos (iluminación, color del suelo) y las sombras.
- 4.- Caracterización de los endmembers a partir de distribución estadísticas utilizando información “a priori” disponible.
- 5.- Modelización de los endmembers como mezcla de gaussianas, las cuales representan variedades (subclases) de vegetación y suelo presentes en la escena.
- 6.- Aplicación de la teoría de Bayes para calcular la probabilidad “a posteriori” de cada píxel en cada una de las sub-clases (García-Haro *et al.*, 2005b).
- 7.- Estimación de la FVC como una suma pesada de la contribución de cada sub-clase presente en el píxel (modelo probabilístico).
- 8.- Cálculo del error, combinando: (1) propagación de errores de los inputs y (2) errores del proceso de selección de los endmembers.
- 9.- Estimación del LAI a partir de la FVC utilizando relaciones semi-empíricas (Roujean and Lacaze, 2002) con coeficientes característicos de cada biotipo y corrigiendo los errores asociados al “clumping” de los elementos vegetales (Chen *et al.*, 2005).

El prototipo desarrollado para estimar FAPAR se basa en el trabajo de Roujean and Bréon (1995), que establece una relación estadística entre un índice de vegetación (RDVI) y la FAPAR para una geometría óptima (plano principal). La aplicabilidad de dicha metodología sobre datos SEVIRI/MSG se ha demostrado en diferentes estudios (Camacho-de Coca *et al.*, 2007).

El resultado de los algoritmos desarrollados son es-

timaciones de FVC, LAI y FAPAR corregidas de la anisotropía de la BRDF, es decir, de la influencia en la reflectividad de la geometría de observación e iluminación, efecto muy crítico a la resolución SEVIRI/MSG.

Descripción de los productos

La figura 2 muestra un ejemplo de los productos diarios FVC y LAI, los cuales se generan de forma rutinaria en LSA SAF desde Septiembre de 2005 a partir de datos SEVIRI/MSG. Cada producto viene acompañado de información adicional a nivel de cada píxel individual. Dicha información incluye la incertidumbre de la estimación y un control de calidad (“quality flag”, QF) asociado a las condiciones específicas en que fue realizada la estimación (cuantidad de los inputs, información sobre la presencia de trazas de agua o nieve en el píxel, etc.). En particular, tanto las áreas de la máscara de nieve como aquellas parcialmente cubiertas por nieve no se procesan. Asimismo, la presencia de pequeñas masas de agua en la superficie y de nubes residuales se refleja en la incertidumbre asociada a las estimaciones.

El algoritmo utiliza como inputs valores de la reflectividad corregida de anisotropía en 3 canales SEVIRI localizados en las regiones del rojo (VIS-0.6), infrarrojo cercano (VIS-0.8) e infrarrojo medio (IR-1.6). Con el fin de mejorar la consistencia temporal de los productos diarios y eliminar errores atribuibles a la presencia de nubes, la estimación de dichos inputs se realiza acumulando las observaciones de un periodo de síntesis de varios días, y asociando a cada observación un peso semi-gausiano con un tiempo característico de 5 días (Geiger *et al.*, 2006).

Los productos no presentan prácticamente discontinuidades, excepto en zonas cubiertas por nieve (píxeles no procesados).

Con el fin de procesar y distribuir los productos de una forma eficiente se ha dividido el disco SEVIRI en cuatro regiones geográficas rectangulares, las cuales se muestran en la figura 3. Los algoritmos producen estimaciones diarias en tiempo real de FVC, LAI y FAPAR sobre Europa, África y Sudamérica con una resolución espacial SEVIRI/Meteosat (3 km en el nadir). Las características espaciales (geo-localización y resolución especial) de los productos corresponden al instrumento SEVIRI/MSG.

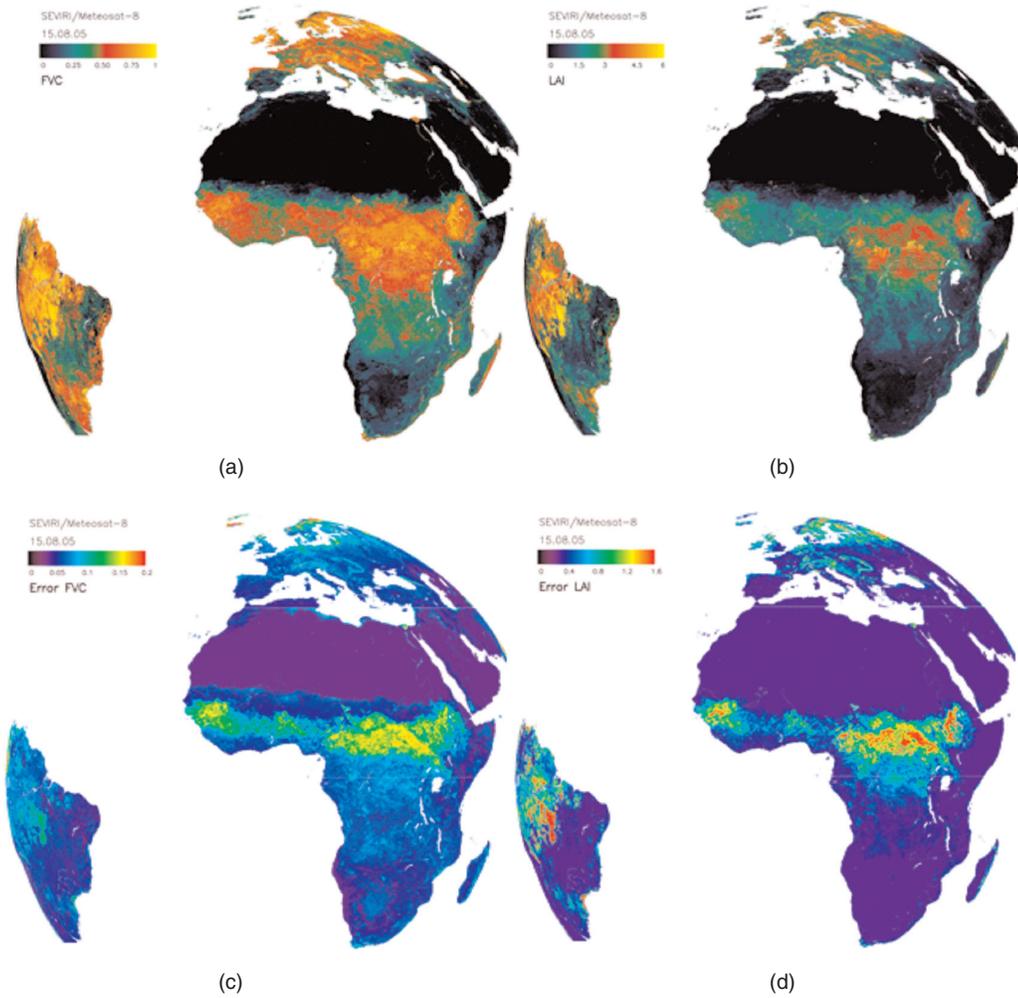


Figura 2. Ejemplo de productos diarios FVC (2a) y LAI (2b) del sensor SEVIRI a bordo del satélite MSG, co-respondientes al 15 de Septiembre de 2005. Los errores asociados a FVC y LAI se muestran en las figuras 2c y 2d, respectivamente.

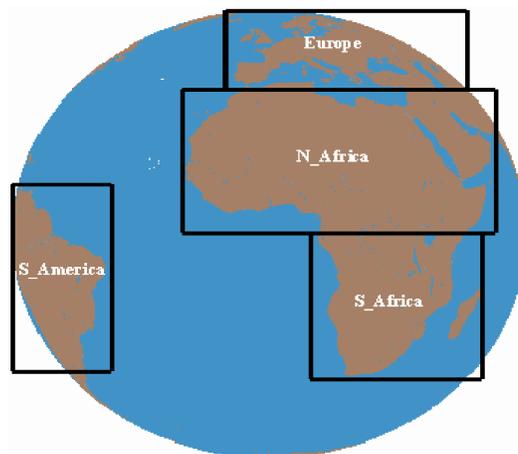


Figura 3. Las regiones geográficas de los productos SEVIRI/MSG.

La tabla 1 muestra algunas de las características principales de los productos SEVIRI/MSG. Dichos productos se distribuyen en formato HDF5 desarrollado por el NCSA (National Center for Supercomputing Applications) de la Universidad de Illinois [http://hdf.ncsa.uiuc.edu/]. Cada fichero incluye tres imágenes: el producto, su incertidumbre asociada y su QF, así como información relevante (metadatos) contenida en los atributos HDF5.

Los productos se generan en tiempo real en el sistema operacional LSA SAF (EUMETSAT) y están accesibles de forma libre y gratuita a la comunidad científica internacional a través del portal LSA SAF del Instituto de Meteorología de Portugal [http://landsaf.meteo.pt]. A través de dicho portal se proporciona a los usuarios información relativa a los algoritmos, las características técnicas de los productos e información general acerca del estado de validación de los productos (García-Haro *et al.*, 2008b).

Validación de los productos

La implementación operacional de los prototipos requiere tanto el desarrollo metodológico como la validación científica de los productos. La validación se entiende como el proceso de evaluar mediante técnicas independientes la calidad de los productos derivados a partir de satélite. Sin embargo para productos de media y baja resolución esta comparación resulta más difícil de llevar a cabo debido a la heterogeneidad de la variable de estudio y a la carencia de datos espaciales precisos sobre zonas extensas correspondientes a diferentes ecosistemas representativos. Se ha hecho pues necesaria una coordinación con los diferentes programas que operan con satélites y medidas in situ y redes internacionales de va-

lidación (VALERI, METLAND, MODLAND, SAFARI y BELMANIP).

La metodología de validación se ha llevado a cabo a través de dos actividades principales:

(i) Validación directa.

Incluye la caracterización in-situ de la cubierta vegetal en áreas extensas (Martínez *et al.*, 2007) y la comparación de los productos con datos de referencia proporcionados por redes de validación correspondientes a diferentes biotipos distribuidos en las 4 regiones geográficas SEVIRI. Se han considerado medidas obtenidas en el contexto de las redes de validación VALERI y SAFARI (Privette *et al.*, 2005). Los resultados (ver ejemplo en la figura 4) han mostrado que el producto LAI SEVIRI/MSG presenta un buen acuerdo con las medidas in-situ realizadas en las grandes sabanas de África y reproducen adecuadamente las variaciones estacionales de la cubierta vegetal en esta región.

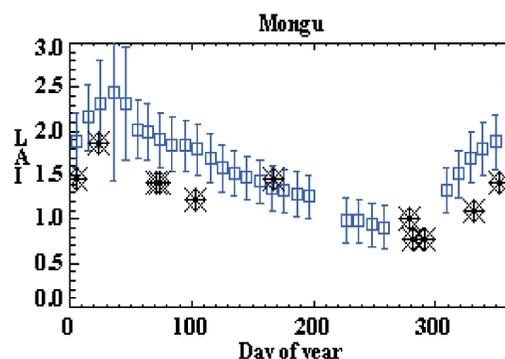


Figura 4. Comparación entre el perfil temporal anual del producto LAI SEVIRI/MSG y las medidas in situ (símbolos negros) en el área de referencia SAFARI de Mongu (Zambia, 15° 26.3' S., 23° 15.2' E), durante el periodo 2000-2002

Cobertura:	SEVIRI/MSG (pixeles ocupados por superficie terrestre)		
Distribución:	Europa, N_Africa, S_Africa, S_America		
Formato:	HDF5 (comprimido)		
Resolución:	MSG (3km×3km en el nadir, situado a 0°Este)		
Proyección:	SEVIRI level 1.5		
Rango:	0 – 1 (FVC);	0-7 (LAI);	0-1 FAPAR
Rango de error:	0-0.2 (FVC);	0-1.5 (LAI);	0-0.2 (FAPAR)
Precisión:	0.1-0.2 (FVC)	0.6-1.0 (LAI);	0.1-0.2 (FAPAR)
Formato:	16-bit (Producto y error), 8 bit (QF)		
Factor de escala:	10000 (FVC);	1000 (LAI);	10000 (FAPAR)
Frecuencia:	diaria (posteriormente decenal y mensual)		

Tabla 1. Características de los productos de la cubierta vegetal SEVIRI (FVC, LAI y FAPAR)

(ii) Validación indirecta.

Ha permitido demostrar la consistencia espacial y temporal mediante la comparación directa con productos operacionales generados en misiones y proyectos actuales, principalmente MODIS/TERRA, VGTCYCLOPES/SPOT y MERIS/ENVISAT. Los productos utilizados en la intercomparación presentan una resolución espacial mayor (típicamente de 1km). Un paso previo ha consistido en reproyectar estos productos a la resolución SEVIRI/MSG, teniendo en cuenta las incertidumbres asociadas a cada uno. El estudio se ha realizado considerando un periodo de 18 meses de productos SEVIRI (v2.1).

Los resultados demuestran que el producto MSG es consistente tanto espacial como temporalmente con los productos disponibles (Land-SAF, 2008; Camacho-de Coca *et al.*, 2006). Las diferencias entre MSG y el resto de productos son del mismo orden o inferiores a las diferencias que presentan los diferentes productos entre sí. Además, dichas diferencias están generalmente dentro de los márgenes de error que se pretende alcanzar (ver tabla 1).

La figura 5 muestra dos ejemplos típicos de intercomparación entre las estimaciones del LAI generadas por cuatro productos equivalentes. Cada estimación viene acompañada por una barra de error asociada a la fiabilidad de la misma. Se aprecia un elevado grado de consistencia temporal del producto MSG con el resto de productos a lo largo de un periodo de 1 año. También se aprecia un buen acuerdo con medidas in situ realizadas puntualmente. Se han obtenido resultados similares considerando los principales biotipos de las 4 regiones geográficas SEVIRI. Los problemas principales se encuentran en la región de Europa durante los meses de invierno en zonas situadas en latitudes elevadas. Ello se debe

principalmente a la reducción considerable del número de observaciones causado por la presencia de nubes y nieve, así como a las limitaciones inherentes a los modelos de reflectividad para ángulos cenitales elevados (>50°). Estos errores se reducirán en el futuro utilizando datos AVHRR/MetOp que proporcionan una mejor resolución espacial.

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS FUTURAS

La finalidad principal LSA SAF es el desarrollo e implementación de algoritmos adaptados a las capacidades que ofrecen los nuevos satélites EUMETSAT. Actualmente, los algoritmos producen estimaciones diarias de FVC, LAI y FAPAR a partir de datos SEVIRI/MSG sobre Europa, África y Sudamérica a la resolución espacial SEVIRI/MSG. Los productos incluyen, además, información adicional (barras de error, fiabilidad de la estimación) a nivel de cada píxel individual. Estos productos son de libre acceso para la comunidad de usuarios a través del portal LSA SAF [<http://landsaf.meteo.pt>]. Los diferentes estudios de validación realizados indican que los productos SEVIRI/MSG presentan una elevada consistencia espacial y temporal, y son adecuados para estudiar la dinámica de la cubierta a escala regional y global.

Durante la siguiente fase del proyecto LSA SAF (2007-2012) se continuarán las actividades de validación de los productos SEVIRI/MSG y se desarrollará una nueva cadena de producción utilizando datos AVHRR/MetOp. Se debe tener en cuenta que MSG es un sistema estacionario de manera que el sistema polar AVHRR forma un excelente complemento.

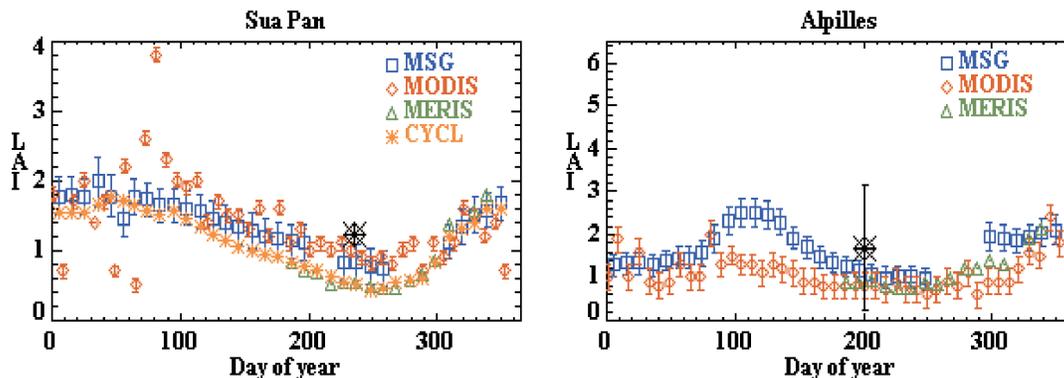


Figura 5. Comparación entre los perfiles temporales anuales del producto LAI SEVIRI/MSG y de otros productos equivalentes, en dos zona de referencia, Sua Pan (Botswana -15.522°S, 23.25°E), y Alpillés (Francia, 43.49°N, 4.44°E). Los símbolos negros corresponden a medidas in situ proporcionadas por las redes SAFARI (Sua Pan) y VALERI (Alpillés).

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por los proyectos LSA SAF (EUMETSAT), DULCINEA (CGL2005-04202) y DESURVEY (EC-003950). Los datos MERIS se han obtenido a través de un proyecto ESA cat-1. Los autores desean agradecer al proyecto CYCLOPES por proporcionar la base de datos VEGETATION/SPOT y a las redes VALERI y SAFARI por proporcionar datos para la validación directa de los productos.

REFERENCIAS

- CHEN, J. M., MENGES, C. H., LEBLANC, S. G., 2005. Global mapping of foliage clumping index using multi-angular satellite data, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 97: 447 – 457
- CAMACHO-DE COCA, F., 2006. Validation of MSG vegetation products. Inter-comparison with MODIS and PARASOL products. SAF Visiting Scientist Report, 100 pp. Available on-line [<http://landsaf.meteo.pt>].
- CAMACHO-DE COCA, F., 2007. Evaluation of the Land-SAF FAPAR prototype along one year of MSG BRDF data: Algorithm, Product description, and inter-comparison against equivalent satellite products and groundtruth. SAF Visiting Scientist Report, 60 pp. Available on-line [<http://landsaf.meteo.pt>].
- GEIGER, B., FRANCHISTEGUY, L., ROUJEAN, J.L., 2004. Land Surface Albedo from Meteosat Second Generation (MSG) Observations, Proceedings of the XXIII IGARSS Symposium, Toulouse, France 21-25 July, pp 2617-2619.
- GARCÍA-HARO, F.J, SOMMER, S., KEMPER, T. 2005a. Variable multiple endmember spectral mixture analysis (VMESMA), *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 26:2135-2162.
- GARCÍA-HARO, F.J., CAMACHO-DE COCA F., MELIÁ, J., MARTÍNEZ, B. 2005b. Operational derivation of vegetation products in the framework of the LSA SAF project. EUMETSAT Meteorological Satellite Conference. Dubrovnik (Croatia). 19-23 September, (Eumetsat Publ.: Darmstad), ISBN 92-9110-073-0, ISSN 1011-3932, pp 247-254.
- GARCÍA-HARO, F.J., CAMACHO-DE COCA F., MELIÁ, J., 2008a. A probabilistic spectral mixture analysis of multispectral vegetation scenes, *Remote Sensing of Environment*, In preparation.
- GARCÍA-HARO, F. J., CAMACHO-DE COCA, F., & MELIÁ, J., 2008b. Product user manual (PUM) vegetation parameters (FVC, LAI, FAPAR). *LSA SAF, SAF/LAND/UV/PUM-VEGA/ 2.1*. 53 pp. Available on-line [<http://landsaf.meteo.pt>].
- GEIGER, B. L., J.L. ROUJEAN, FRANCHISTEGUY, L., 2006. Product User Manual (PUM) Land Surface Albedo, December 2006, 41 pp. Available on-line [<http://landsaf.meteo.pt>].
- MARTÍNEZ, B., GARCÍA-HARO, F.J., CAMACHO-DE COCA, F. 2007. Derivation of high-resolution leaf area index maps in support of validation activities. Application to the cropland Barrax site. *Agricultural Forest and Meteorology*, In review.
- Land-SAF, 2008. Validation Report of vegetation products (FVC, LAI, fAPAR) (SAF/LAND/UV/VR_VEGA/2.1), January 2008, 91 pp.
- ROUJEAN J.-L. and F.-M. BRÉON, 1995. Estimating PAR absorbed by vegetation from bidirectional re-reflectance measurements, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 51:375-384, 1995.
- ROUJEAN J.-L., R. LACAZE, 2002. Global mapping of vegetation parameters from POLDER multiangular measurements for studies of surface-atmosphere interactions: A pragmatic method and its validation. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 107D, 10129-10145.
- PRIVETTE J. L., M. MUKELABAI, N. HANAN, Z. ZAO. 2005. SAFARI 2000 Surface Albedo and Radiation Fluxes at Mongu and Skukuza, 2000-2002. Data set. Available on-line [<http://daac.ornl.gov/>] from Oak Ridge National Laboratory Distributed Active Archive Center, Oak Ridge, Tennessee, U.S.A.